不同玉米脱水酒精糟及其可溶物含量饲料中添加非淀粉多糖酶对大菱鲆幼鱼生长性能、营养物质消化率及抗氧化能力的影响[1]

隋仲敏　周慧慧　王　旋　张蓓莉　麦康森　何　艮*

（中国海洋大学，农业部水产动物营养与饲料重点实验室，青岛 266003）

摘　要：本试验旨在研究不同玉米脱水酒精糟及其可溶物含量饲料中添加非淀粉多糖酶对大菱鲆幼鱼生长性能、营养物质消化率及抗氧化能力的影响。选用 720 尾初重为（13.00±0.01）g 的大菱鲆幼鱼，随机分为 8 个组，每个组设 3 个重复，每个重复 30 尾鱼。D3、D6、D9、D12 组为不加酶对照组，分别饲喂以 DDGS 替代基础饲料中 3%、6%、9%、12%鱼粉的试验饲料；D3+、D6+、D9+、D12+组为加酶试验组，分别饲喂以 DDGS 替代基础饲料中 3%、6%、9%、12%鱼粉并添加木聚糖酶（活性为 120 163 IU/g，添加量为 20 g/t）和纤维素酶（活性为 13 424 IU/g，添加量为 300 g/t）的试验饲料。试验期为 9 周。结果表明：大菱鲆幼鱼饲喂相同 DDGS 含量的饲料时，加酶试验组的终末体重、增重率、特定生长率、饲料效率均高于不加酶对照组，但差异未达显著水平（P>0.05）。各组大菱鲆幼鱼摄食率以及全鱼水分、粗蛋白质、粗脂肪含量无显著差异（P>0.05），肥满度、肝体比和脏体比也无显著差异（P>0.05）。大菱鲆幼鱼饲喂相同 DDGS 含量的饲料时，加酶试验组的干物质和粗蛋白质表观消化率均高于不加酶对照组，其中 D9+组的干物质表观消化率较 D9 组显著升高（P<0.05），D3+的粗蛋白质表观消化率较 D3 组显著升高（P<0.05），D12+的粗蛋白质表观消化率较 D12 组显著升高（P<0.05）。大菱鲆幼鱼饲喂相同 DDGS 含量的饲料时，加酶试验组大菱鲆幼鱼血清超氧化物歧化酶和谷胱甘肽过氧化物酶的活性均较不加酶对照组显著提高（P<0.05），血清丙二醛的含量较不加酶对照组显著降低（P<0.05）。由此得出，在不同 DDGS 含量饲料中添加非淀粉多糖酶提高了大菱鲆幼鱼对饲料的利用效果。

关键词：大菱鲆幼鱼；玉米脱水酒精糟及其可溶物；非淀粉多糖酶；生长性能；营养物质表观消化率；抗氧化能力

中图分类号:S963　　　　文献标识码:A　　　　文章编号:

玉米脱水酒精糟及其可溶物（DDGS）是指在生产酒精的过程中，用玉米籽实与酵母、酶等混合发酵去除酒精后，发酵残留物经干燥处理形成的共生产品[1]。玉米 DDGS 具有高蛋白质、高脂肪、高磷、高产量和低成本等特点，可作为优秀的蛋白质来源用于养殖生产。研

收稿日期：2017-03-09

基金项目：替代渔用饲料中鱼粉的新蛋白源开发利用技术（201303053）

作者简介：隋仲敏（1991—），女，山东莱阳人，硕士研究生，水产动物营养与饲料学专业。E-mail: suizhongmin@163.com

*通信作者：何　艮，教授，博士生导师，E-mail: hegen@ouc.edu.cn

究发现，玉米 DDGS 富含酵母菌体、B 族维生素以及发酵过程中产生的未知生长因子、糖化物等，具有较高的饲用价值[2]。目前低玉米 DDGS 含量饲料在畜禽养殖和水产动物养殖中已得到广泛应用[3-5]。

由于价格低廉，养殖者普遍用玉米 DDGS 作为饲料蛋白质源降低饲料工业的成本，但是，玉米 DDGS 的应用还受到多方面的局限。首先，不同的原料来源和加工工艺使不同玉米 DDGS 产品的营养成分和原料利用率有很大差异；其次，玉米 DDGS 生产工艺普遍采用低温液化法，在玉米发酵过程中添加液化淀粉酶，使淀粉直接转化为糖类，玉米中的碳水化合物几乎全部被发酵成酒精，使得玉米 DDGS 中蛋白质和脂肪等富集的同时，非淀粉多糖的含量也大大增加，其中木聚糖含量为 18%，纤维素含量为 8%。

肉食性鱼类的消化道本身并不能分泌木聚糖酶，木聚糖能通过抗营养作用极大地影响鱼类对营养物质的吸收利用。有研究表明，养殖动物消化道食糜中的木聚糖含量较高时，木聚糖分子间会相互作用形成凝胶状，使食糜的黏度增加，进而使肠内食糜通过消化道的速度减慢。木聚糖还会通过与肠道内消化酶络合阻止酶同其底物发生反应，延缓酶对底物的消化[6]；并且由于木聚糖具有较高的持水能力，会在肠黏膜上形成一层较厚的不动水层，进而妨碍营养物质向肠黏膜的扩散和营养物质的正常吸收[7]；此外，高黏度食糜缓慢通过肠道也为细菌的生长、繁殖提供了一个稳定的环境，使细菌得以在肠道内大量定居，与宿主加剧对营养物质吸收的竞争[8]，其结果是饲料流通量和摄入量均减少，限制了营养素的同化效率。同样，纤维素以细胞壁结构的形式包裹营养物质，妨碍底物与酶的接触，增加内源营养物质的损失，降低营养物质利用率。研究表明，饲用酶制剂能补充养殖动物内源消化酶的不足，消除饲料中的木聚糖和纤维素等抗营养因子，显著提高饲料转化率和营养物质的利用率[2]。目前对玉米 DDGS 的研究多集中在其生产效应[3]上，而在不同 DDGS 含量饲料中添加酶制剂的研究资料还很少。

大菱鲆（*Scophthalmus maximus* L.），俗称“多宝鱼”，是名贵的低温经济鱼类，由于生长迅速、肉质鲜美、经济价值高等优点，已经成为中国北方水产养殖的重要经济种类。本研究选取大菱鲆为研究对象，在不同玉米 DDGS 含量饲料中添加木聚糖酶和纤维素酶，通过对其生长性能、营养物质消化率、抗氧化能力进行初步研究，来综合评价非淀粉多糖酶在高玉米 DDGS 含量饲料中的应用效果，为合理开发应用酶制剂提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验饲料

以鱼粉、玉米 DDGS、谷朊粉、小麦粉为主要蛋白质源，鱼油和大豆卵磷脂为脂肪源配

制基础饲料。试验共配制 8 种试验饲料，分别为以 DDGS 替代基础饲料中 3%、6%、9%、12%鱼粉的不加酶饲料（分别命名为 D3、D6、D9、D12 组，作为不加酶对照组），以及以 DDGS 替代基础饲料中 3%、6%、9%、12%鱼粉并额外添加 20 g/t 木聚糖酶和 300 g/t 纤维素酶的加酶饲料（分别命名为 D3+、D6+、D9+、D12+组，作为加酶试验组）。木聚糖酶活性为 120 163 IU/g，纤维素酶活性为 13 424 IU/g，均由北京挑战生物技术有限公司提供。玉米 DDGS 由青岛七好生物科技有限公司提供，其必需氨基酸组成及营养水平见表 1。试验饲料组成及营养水平见表 2。

所有原料分别粉碎过 80 目筛，按表 2 配方由小到大逐一混合均匀，然后与油脂充分混合，最后再加入 30%蒸馏水揉匀后制粒。烘干后，待冷却用双层塑料袋封口，贮存于-20 ℃冰箱中备用。

表 1　玉米 DDGS 的必需氨基酸组成及营养水平（干物质基础）

Table 1　Essential amino acid composition and nutrient levels of corn DDGS (DM basis)　%

项目 Items	含量 Content
必需氨基酸组成 Essential amino acid composition	
精氨酸 Arg	1.35
组氨酸 His	0.88
异亮氨酸 Ile	1.21
亮氨酸 Leu	3.63
赖氨酸 Lys	0.99
蛋氨酸 Mat	0.71
苯丙氨酸 Phe	1.63
苏氨酸 Thr	1.20
缬氨酸 Val	1.64
营养水平 Nutrient levels	
水分 Moisture	8.97
粗蛋白质 Crude protein	32.63
粗脂肪 Crude lipid	7.70

表 2　试验饲料组成及营养水平（干物质基础）

Table 2　Composition and nutrient levels of experimental diets (DM basis)　%

项目 Items	组别 Groups							
	D3	D6	D9	D12	D3+	D6+	D9+	D12+
原料 Ingredients								
鱼粉 Fish meal[1)]	58.20	56.40	54.60	52.80	58.20	56.40	54.60	52.80
玉米脱水酒精糟及其可溶物 Corn DDGS	4.67	9.34	14.01	18.68	4.67	9.34	14.01	18.68

小麦粉 Wheat flour[1)]	18.13	13.06	9.35	4.79	18.13	13.06	9.35	4.79
谷朊粉 Wheat gluten meal[1)]	4.00	5.90	5.64	6.63	4.00	5.90	5.64	6.63
鱼油 Fish oil	5.00	5.30	6.40	7.10	5.00	5.30	6.40	7.10
大豆卵磷脂 Soybean lecithin	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
磷酸二氢钙 $Ca(H_2PO_4)_2$	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
氯化胆碱 Choline chloride（99%）	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30
牛磺酸 Taurine	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
维生素预混料 Vitamin premix[2)]	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
矿物质预混料 Mineral premix[3)]	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
丙酸钙 Calcium propionate	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
乙氧基喹啉 Ethoxyquin	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
复合诱食剂 Composite attract[4)]	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
海藻酸钠 Sodium alginate	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
胆固醇 Cholesterol	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
三氧化二钇 Y_2O_3	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
合计 Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
营养水平 Nutrient levels[5)]								
总能 Gross energy/(MJ/kg)	20.39	20.56	20.80	21.01	20.39	20.56	20.80	21.01
粗蛋白质 Crude protein	50.12	50.86	50.00	50.05	50.12	50.86	50.00	50.05
粗脂肪 Crude lipid	13.48	13.69	14.68	15.28	13.48	13.69	14.68	15.28

[1)] 鱼粉（粗蛋白质含量为 68.67%，粗脂肪含量为 9.71%）、小麦粉（粗蛋白质含量为 17.14%，粗脂肪含量为 2.36%）、谷朊粉（粗蛋白质含量为 80.27%，粗脂肪含量为 1.24%）均由青岛七好生物科技有限公司提供。Fish meal (crude protein content was 68.67% and crude lipid content was 9.71%), wheat flour (crude protein, content was 17.14% and crude lipid content was 2.36%) and wheat gluten meal (crude protein content was 80.27% and crude lipid content was 1.24%) were purchased from Great Seven Bio-Tech (*Qingdao*) Co., Ltd.

[2)] 维生素预混料为每千克饲粮提供 Vitamin premix provided the following per kg of diets：VA 32 mg,VD 5 mg,VE 240 mg,VK 10 mg,VB_1 25 mg,VB_2 45 mg,VB_6 20 mg,VB_{12} 10 mg,泛酸钙 calcium pantothenate 60 mg,烟酸 nicotinic acid 200 mg,叶酸 folic acid 20 mg,生物素 biotin 60 mg,肌醇 inositol 800 mg,维生素 C 磷酸酯 ascorbyl polyphosphate 2 000 mg,微晶纤维素 microcrystalline cellulose 16 473 mg。

[3)] 矿物质预混料为每千克饲粮提供 Mineral premix provided the following per kg of diets：$MgSO_4·7H_2O$ 1 200 mg，$CuSO_4·5H_2O$ 10 mg,$FeSO_4·H_2O$ 80 mg,$ZnSO_4·H_2O$ 50 mg,$MnSO_4·H_2O$ 45 mg,$CoCl_2·6H_2O$ (1%) 50 mg,$Ca(IO_3)_2$ (1%) 60 mg,Na_2SeO_3 (1%) 20 mg,沸石粉 zeolite 3 485 mg。

[4)] 复合诱食剂组成 Composition of composite attract：甜菜碱 betaine：二甲基-丙酸噻亭 dimethyl-propiothetin：甘氨酸 glycine：丙氨酸 alanine：5-磷酸肌苷 5-phosphate inosine =4：2：2：1：1。

[5)] 营养水平为实测值。Nutrient levels were measured values.

1.2 试验鱼及饲养管理

试验用大菱鲆幼鱼来源于山东省海阳市黄海水产公司，是当年人工培育的同一批苗种。养殖试验在山东省青岛市亿海丰水产公司养殖基地进行。试验开始前以商业饲料作为暂养料，将试验鱼在养殖系统中暂养 2 周以适应养殖环境。

驯化结束后随机抽取 100 尾鱼称重，取均值作为试验鱼初始体重[（13.00±0.01） g]。

选择规格均一、体格健壮、无损伤的大菱鲆幼鱼随机分到 24 个养殖桶中，每桶 30 尾鱼。每种试验饲料随机投喂 3 个养殖桶的试验鱼，并于每天 07:00 和 19:00 分 2 次投喂至表观饱食，投喂 1 h 后收集残饵、洗底、换水以保证水质。记录每个养殖桶的摄食量和残饵量。如有死鱼，记录死鱼的数量、重量和症状。试验鱼采用室内长流水养殖系统养殖，整个养殖期间 24 h 连续充氧，遮蔽窗户、关闭灯光。养殖水温控制在 19~22 ℃，pH 为 7.5~8.0。养殖期为 9 周。

1.3　样品采集

试验开始前，从试验鱼中随机选取 20 尾鱼保存于-20 ℃冰箱中作为初始鱼样。9 周养殖试验结束时，试验鱼饥饿 24 h 后称重，记录每桶鱼的数量与重量。从每桶鱼中随机抽取 5 尾保存于-20 ℃冰箱中用于分析体组成；另从每桶中随机抽取 3 尾鱼麻醉，分别称重、测体长后，解剖取内脏、肝脏称重，用以计算肝体比、脏体比和肥满度；每桶再随机取 5 尾鱼，尾静脉取血，放于 2 mL 离心管中，抽取血液过程要缓慢，防止血细胞因机械损伤而破裂，室温下静置 1 h 待其凝固，4 ℃冰箱静置 4 h，于 4 ℃条件下 3 500 r/min 离心 10 min，收集血清，液氮速冻，样品转移到-80 ℃冰箱中保存，用于血清抗氧化指标测定。

1.4　样品分析测定

1.4.1　体组成分析

原料蛋白质源、饲料和鱼体常规营养成分的含量采用 AOAC（1993）[9]的方法测定。其中，水分含量在样品 105 ℃烘干至恒温后称重测定，粗蛋白质含量采用全自动凯氏定氮仪（Kjeltec 8400，FOSS，德国）测定，粗脂肪含量采用索氏抽提法以石油醚为抽提剂测定。总能采用氧弹仪（PARR 6400，PARR，美国）测定。

1.4.2　营养物质表观消化率

饲料中添加 1%的三氧化二钇（Y_2O_3）作为指示剂测定干物质和粗蛋白质的表观消化率。投喂试验饲料 4 周后开始收集粪便，每次于投喂 4 h 后用虹吸法收集，将粪便保存于-20 ℃，收集至测定表观消化率足量。钇含量采用 Furukawa 等[10]的方法，将饲料和粪便用高氯酸消解后用电感耦合等离子体原子发射光谱仪（ICP-OES,Vistampx,Varian,美国）进行测定。

1.4.3　血清抗氧化指标分析

血清超氧化物歧化酶（superoxide dismutase,SOD）和谷胱甘肽过氧化物酶（glutathion eperoxidase,GSH-Px）活性及丙二醛（malonaldehyde,MDA）含量采用专用试剂盒（南京建成生物工程研究所产品）测定。

1.5　计算公式

存活率（SR，%）=100×终末尾数/初始尾数；

增重率（WGR，%）=100×(终末体重-初始体重)/初始体重；

特定生长率（SGR，%/d）=100×（ln终末体重-ln初始体重）/养殖天数；

摄食率(FI,%/d)=100×摄食饲料量/[(初始体重+终末体重)/(2×养殖天数)]；

饲料效率(FE)=鱼体增重/摄食饲料量；

肝体比（HSI，%）=100×肝脏重/体重；

脏体比（VSI，%）=100×内脏重/体重；

肥满度(CF，%)=100×体重/体长^3；

营养物质表观消化率（%）=100×[1-(饲料中钇含量/粪便中钇含量)×(粪便中营养物质含量/饲料中营养物质含量)]。

1.6 数据统计与分析

试验所得数据表示为平均值±标准误（mean±SE）。所有数据均使用 SPSS 17.0 软件进行单因素方差分析（one-way ANOVA），若差异显著，则采用 Tukey's 法进行多重比较，显著水平为 P<0.05。

2 结 果

2.1 生长性能

如表 3 所示，在不同 DDGS 含量饲料中加入非淀粉多糖酶后，同一 DDGS 含量下，加酶试验组大菱鲆幼鱼的终末体重、增重率、特定生长率、饲料效率均高于不加酶对照组，但差异未达到显著水平（P>0.05）；大菱鲆幼鱼的摄食率各组间没有显著差异（P>0.05）。

表 3 摄食不同饲料大菱鲆幼鱼的生长性能

Table 3 Growth performance of juvenile turbot fed different diets （n=3）

组别 Groups	初始体重 IBM/g	终末体重 FBM/g	增重率 WGR/%	特定生长率 SGR/(%/d)	摄食率 FI/(%/d)	饲料效率 FE
D3	13.00 ±0.01	82.99±2.40^{c}	5.39±0.19^{c}	2.94±0.05^{c}	1.59±0.03	1.46±0.04^{c}
D6	12.99 ±0.01	86.58±2.72^{bc}	5.67±0.21^{bc}	3.01±0.05^{bc}	1.49±0.04	1.58±0.04^{bc}
D9	13.01 ±0.01	95.52±3.96^{ab}	6.35±0.30^{ab}	3.16±0.07^{ab}	1.50±0.02	1.61±0.02^{ab}
D12	13.00 ±0.01	86.82±1.31^{bc}	5.68±0.11^{bc}	3.01±0.03^{bc}	1.58±0.05	1.49±0.05^{bc}
D3+	13.02±0.00	91.42±2.54^{abc}	6.02±0.20^{abc}	3.09±0.05^{abc}	1.55±0.05	1.54±0.06^{abc}
D6+	12.99±0.02	93.31±3.02^{abc}	6.19±0.23^{abc}	3.13±0.05^{abc}	1.49±0.02	1.61±0.03^{abc}
D9+	13.00±0.00	100.94±0.76^{a}	6.77±0.06^{a}	3.26±0.01^{a}	1.45±0.01	1.70±0.02^{a}

D12+	13.00±0.01	91.80±1.59[abc]	6.06±0.12[abc]	3.10±0.03[abc]	1.50±0.01	1.59±0.01[abc]

同列数据肩标不同小写字母表示显著差异（P<0.05）。下表同。

Values in the same column with different small letter superscripts mean significant difference (P<0.05).

2.2 体组成

如表 4 所示，在不同 DDGS 含量饲料中加入非淀粉多糖酶后，各组鱼体粗蛋白质、水分、粗脂肪含量均无显著差异（P>0.05）。

表 4 摄食不同饲料大菱鲆幼鱼的体组成

Table 4 Body composition of juvenile turbot fed different diets （n=3） %

组别 Groups	粗蛋白质 Crude protein	粗脂肪 Crude lipid	水分 Moisture
D3	68.60±1.03	16.14±1.54	76.15±0.18
D6	66.92±1.34	16.83±0.83	76.28±0.11
D9	67.55±0.89	16.84±0.84	76.18±0.42
D12	68.16±0.94	16.75±0.83	76.34±0.16
D3+	67.43±0.17	16.90±0.39	76.15±0.19
D6+	70.48±0.04	14.74±0.34	76.90±0.37
D9+	68.44±0.09	16.54±0.12	76.39±0.14
D12+	66.85±0.38	16.53±0.54	76.58±0.19

2.3 肥满度、肝体比和脏体比

如表 5 所示，在不同 DDGS 含量饲料中加入非淀粉多糖酶后，各组的肝体比、脏体比、肥满度均无显著差异（P>0.05）。

表 5 摄食不同饲料大菱鲆幼鱼的肥满度、肝体比和脏体比

Table 5 CF, HSI and VSI of juvenile turbot fed different diets （n=3） %

组别 Groups	肥满度 CF	肝体比 HSI	脏体比 VSI
D3	4.96±0.17	1.12±0.04	4.12±0.11
D6	4.85±0.09	1.05±0.08	4.07±0.08
D9	4.95±0.12	1.22±0.12	4.18±0.19
D12	4.75±0.12	1.08±0.08	3.96±0.09
D3+	4.70±0.11	1.14±0.03	3.95±0.08
D6+	4.76±0.15	1.13±0.15	3.96±0.19
D9+	5.03±0.16	1.18±0.13	4.09±0.18
D12+	5.39±0.06	1.05±0.05	4.02±0.18

2.4 营养物质表观消化率

如表 6 所示，在不同 DDGS 含量饲料中加入非淀粉多糖酶后，同一 DDGS 含量下，加酶试验组大菱鲆幼鱼的干物质和粗蛋白质表观消化率均高于不加酶对照组，其中 D9+组的干

物质表观消化率较 D9 组显著升高（$P<0.05$），D3+的粗蛋白质表观消化率较 D3 组显著升高（$P<0.05$），D12+的粗蛋白质表观消化率较 D12 组显著升高（$P<0.05$）。

表 6　摄食不同饲料大菱鲆幼鱼的干物质和粗蛋白质表观消化率

Table 6　Apparent digestibility coefficients of dry matter and crude protein for juvenile turbot fed different diets（n=3）　%

组别 Groups	干物质 Dry matter	粗蛋白质 Crude protein
D3	62.60±0.44[d]	80.14±0.18[d]
D6	63.96±0.55[bcd]	82.73±0.21[c]
D9	66.80±0.41[b]	83.15±0.09[bc]
D12	63.15±0.95[cd]	82.71±1.07[c]
D3+	63.55±0.51[cd]	82.64±0.26[c]
D6+	65.91±0.51[bc]	84.23±0.33[abc]
D9+	69.78±0.48[a]	84.75±0.29[ab]
D12+	65.95±0.15[bc]	84.93±0.40[a]

2.5　血清抗氧化指标

如表 7 所示，在不同 DDGS 含量饲料中添加非淀粉多糖酶后，同一 DDGS 含量水平下，加酶试验组大菱鲆幼鱼血清超氧化物歧化酶和谷胱甘肽过氧化物酶的活性均较不加酶对照组显著提高（$P<0.05$），血清丙二醛的含量较不加酶对照组显著降低（$P<0.05$）。

表 7　摄食不同饲料大菱鲆幼鱼的血清抗氧化指标

Table 7　Serum anti-oxidative indices of juvenile turbot （n=3）

组别 Groups	超氧化物歧化酶 SOD/(U/mL)	谷胱甘肽过氧化物酶 GSH-Px/(U/mL)	丙二醛 MDA/(nmol/mL)
D3	35.01±1.32[c]	416.97±4.56[b]	13.10±0.37[c]
D6	36.29±1.49[c]	423.01±5.30[b]	13.04±0.08[c]
D9	39.72±1.30[bc]	422.28±5.54[b]	13.02±0.53[c]
D12	35.62±0.98[c]	420.79±4.98[b]	12.77±0.63[bc]
D3+	46.08±2.37[ab]	465.92±4.36[a]	11.23±0.18[ab]
D6+	51.55±2.10[a]	482.41±15.78[a]	11.08±0.14[a]
D9+	53.48±0.81[a]	498.17±8.22[a]	10.47±0.14[a]
D12+	48.30±1.81[a]	469.72±6.79[a]	10.99±0.07[a]

3　讨　论

本研究中，在不同 DDGS 含量饲料中添加非淀粉多糖酶后，大菱鲆幼鱼的特定生长率及饲料效率都有升高趋势，这与 Daskiran 等[11]、Wu 等[12]报道的添加外源非淀粉多糖酶能够提高单胃动物饲料转化率的结果相似。外源添加适量的木聚糖酶和纤维素酶后，能有效降解基础饲料中的木聚糖及非淀粉质抗营养因子，使之转化为消化道能吸收的营养物质，改善饲

料的能值和适口性，提高增重率和饲料利用率。本试验中摄食率不变但是生长性能提高的可能的原因是非淀粉多糖酶提高生长性能主要是通过降低食糜黏度、改善肠道环境、提高养分利用率，而不是通过增加摄食率来进行的。此外，由于养殖周期的局限，生长性能的改善还没有体现完全，随着养殖时间的延长，生长性能差异性可能会进一步扩大，有待进一步研究。

本研究中，在不同 DDGS 含量饲料中添加非淀粉多糖酶后，同一 DDGS 含量下，加酶试验组大菱鲆幼鱼的干物质和粗蛋白质表观消化率要高于不加酶对照组，这与 Mathlouthi 等[13]得出的在麦类饲粮中添加木聚糖酶和 *β*-葡聚糖酶等复合酶显著提高肉鸡对营养物质的表观消化率和表观代谢能的研究结果相似。这是因为，添加外源木聚糖酶和纤维素酶后，肠道吸收条件得到同步改善，并降低细菌的生长繁殖速度；此外，木聚糖酶还可以补充内源酶的不足，激活内源酶的分泌，提高内源性消化酶的活性，从而有利于养殖动物对饲料中营养物质的消化吸收，提高消化率[14]。

本研究表明，在不同 DDGS 含量饲料中添加非淀粉多糖酶后，显著提高了血清超氧化物歧化酶和谷胱甘肽过氧化物酶活性，并显著降低了血清丙二醛含量，改善了大菱鲆幼鱼的抗氧化能力。钟国防等[15]研究表明，尼罗罗非鱼的血清超氧化物歧化酶、溶菌酶活性及抗活性氧能力在饲喂添加酶制剂的饲料后都有极显著提高；黄峰等[16]研究发现，在饲料中添加木聚糖酶后，异育银鲫的血清溶菌酶和超氧化物歧化酶活性都有显著提高，对于提高鱼类的非特异性免疫力具有重要意义。这主要是因为添加外源酶制剂后，鱼体对蛋白质及其他营养物质的利用率得到提高，进而促进了相关免疫因子的合成，并且产生了更多的超氧阴离子（O^{2-}）等自由基，相应地提高了超氧化物歧化酶等抗氧化酶的活性，进而提高机体的抗氧化能力。

4 结 论

在不同 DDGS 含量饲料中添加非淀粉多糖酶可提高大菱鲆幼鱼的生长性能、营养物质表观消化率和抗氧化能力。

参考文献：

[1] CHENG Z J,HARDY R W,BLAIR M.Effects of supplementing methionine hydroxy analogue in soybean meal and distiller's dried grain-based diets on the performance and nutrient retention of rainbow trout [*Oncorhynchus mykiss* (Walbaum)][J].Aquaculture Research,2003,34(14):1303–1310.

[2] 武书庚,齐广海,张海军.玉米 DDGS 的饲用价值[J].中国畜牧杂志,2007,43(8):51–54.

[3] 徐奇友,王靖宇,单安山,等.不同水平 DDGS 对蛋鸡生产性能的影响[J].饲料博览,2004(6):37–38.

[4] 姚军虎,曹斌云,吴继东,等.DDGS 饲喂泌乳牛效果的研究[J].中国饲料,1996(6):22–24.

[5] 张宏福,李玫,贺倩.DDG、DDGS 饲料氨基酸消化率(猪)的评定[J].饲料工业,1994,15(1):42–46.

[6] BEDFORD M R.Mechanism of action and potential environmental benefits from the use of feed enzymes[J].Animal Feed Science and Technology,1995,53(2):145–155.

[7] VAHOUNY G V,CASSIDY M M.Dietary fibers and absorption of nutrients[J].Proceedinga of the Society for Experimental Biology and Medicine,1985,180(3):432–446.

[8] 聂国兴,王俊丽,朱命炜,等.小麦基础饲料添加木聚糖酶对尼罗罗非鱼肠道食糜粘度和绒毛、微绒毛发育的影响[J].水产学报,2007,31(1):54–61.

[9] AOACI.Official methods of analysis of AOAC International[S].Washington,D.C.:AOAC International,1995.

[10] FURUKAWA A,TSUKAHARA H.On the acid digestion method for the determination of chromic oxide as an index substance in the study of digestibility of fish feed[J].Nippon Suisan Gakkaishi,1996,32(6):502–506.

[11] DASKIRAN M,TEETER R G,FODGE D,et al.An evaluation of endo-β-*D*-mannanase (Hemicell) effects on broiler performance and energy use in diets varying in β-mannan content[J].Poultry Science,2004,83(4):662–668.

[12] WU G,BRYANT M M,VOITLE R A,et al.Effects of β-mannanase in corn-soy diets on commercial leghorns in second-cycle hens[J].Poultry Science,2005,84(6):894–897.

[13] MATHLOUTHI N,LALLÈS J P,LEPERCQ P,et al.Xy lanase and β-glucanase supplementation improve conjugated bile acid fraction in intestinal contents and increase villus size of small intestine wall in broiler chickens fed a rye-based diet[J].Journal of Animal Science,2002,80(11):2773–2779.

[14] 许梓荣,卢建军.稻谷型日粮添加非淀粉多糖酶对生长猪消化道结构和功能的作用研究[J].中国农业科学,2003,36(2):201–207.

[15] 钟国防,周洪琪.木聚糖酶和复合酶制剂 PS 对尼罗罗非鱼生长性能、非特异性免疫能力的影响[J].海洋渔业,2005,27(4):286–291.

[16] 黄峰,张丽,周艳萍,等.外源木聚糖酶对异育银鲫生长、超氧化物歧化酶及溶菌酶活性的

影响[J].淡水渔业,2008,38(1):44–48.

Effects of Different Contents of Corn Distillers Dried Grains with Soluble Diets Supplemented with Non-Starch Polysaccharide Enzymes on Growth Performance, Nutrient Apparent Digestibility Coefficients and Anti-oxidative Ability of Juvenile Turbot (*Scophthalmus maximus* L.)

SUI Zhongmin ZHOU Huihui WANG xuan ZHANG Beili MAI Kangsen HE Gen*

(*Key Laboratory of Aquaculture Nutrition and Feed*, *Ministry of Agriculture*, *Ocean University of China*, *Qingdao* 266003, *China*)

Abstract: This experiment was conducted to investigate the effects of different contents of corn distillers dried grains with soluble (DDGS) diets supplemented with non-starch polysaccharide enzymes on growth performance, nutrient apparent digestibility coefficients and anti-oxidative ability of juvenile turbot (*Scophthalmus maximus* L.). Seven hundred and twenty turbots juvenile with the initial body weight of (13.00±0.01) g were randomly assigned to eight groups with three replicates per group and thirty turbots per replicate. D3 ,D6, D9 and D12 groups were enzyme free control groups, and the fish in them were fed the experimental diets which used corn DDGS to replace 3%, 6%, 9% and 12% fish meal individually. D3+, D6+,D9+ and D12+ groups were adding enzyme experimental groups, and the fish in them were fed the experimental diets which used corn DDGS to replace 3%, 6%, 9% and 12% fish meal individually and added 20 g/t xylanase (120 163 IU/g) and 300 g/t cellulase (13 424 IU/g). The trial lasted for 9 weeks. The results showed that the final body weight, weight gain rate, specific growth rate and feed efficiency in adding enzyme experimental groups were significantly higher than those in enzyme free control groups when fish fed the same corn DDGS content diet, but the differences were not significant (P>0.05). Feed intake, the contents of moisture, crude protein and crude lipid, condition factor, hepatosomatic index and viscerosomatic index were not significantly affected by diets supplemented with non-starch polysaccharide enzymes (P>0.05). The apparent digestibility coefficients of dry matter and crude protein in adding enzyme experimental groups were higher than those in enzyme free control groups when fish fed the same corn DDGS content diet. Among them, the apparent digestibility coefficients of dry matter in D9+ group was significantly higher than that in D9 group (P<0.05), the apparent digestibility coefficients of crude protein in D3+ group was sig-

---

*Corresponding author, professor, E-mail: hegen@ouc.edu.cn (责任编辑 菅景颖)

nificantly higher than that in D3 group (*P*<0.05), and the apparent digestibility coefficients of crude protein in D12+ group was significantly higher than that in D12 group (*P*<0.05). When fish fed the same corn DDGS content diet, compared with the enzyme free control groups, the activities of serum superoxide dismutase (SOD) and glutathione peroxidase (GSH-Px) in adding enzyme experimental groups were significantly increased (*P*<0.05), while the content of serum malonaldehyde (MDA) was significantly decreased (*P*<0.05). In conclusion, the utilization effects of different contents of corn DDGS diets for juvenile turbot are improved by adding non-starch polysaccharide enzymes.

Key words: juvenile turbot; corn DDGS; non-starch polysaccharide enzymes; growth performance; nutrient apparent digestibility coefficients; anti-oxidative ability